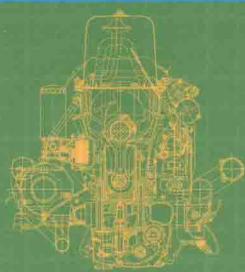


# 机械工程导论



主 编 © 刘惠恩

# 机械工程导论

主 编 刘惠恩

副主编 高建军

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

根据深化高校创新创业教育改革的精神,本书较全面地介绍了现代机械工程学及其相关知识,内容丰富,具有启发性。本书主要包括机械工程的过去与现在,展望了机械工程的未来及其发展方向,具体叙述了现代机械工程的基础理论、机械发展史及工程材料、机械制造业的最新设计手段、机械制造技术、能源技术及机械应用领域。本书共分7章,将机械工程与社会发展、人们的日常生活以及现代高科技紧密结合起来。本书涵盖面广,面向新世纪,通俗易懂,具有较强的可读性与实用性。本书既可作为高等院校相关各专业开设专业导论课程的必修或选修课教材,以扩大学生的知识面,又适合各相关领域工作者(大专院校教师、科研人员、管理人员)阅读,也可以供机械爱好者参考。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

机械工程导论/刘惠恩主编. —北京:北京理工大学出版社, 2016. 9  
ISBN 978 - 7 - 5682 - 3094 - 0

I. ①机… II. ①刘… III. ①机械工程 - 高等学校 - 教材 IV. ①TH

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第218248号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)  
(010) 82562903 (教材售后服务热线)  
(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市天利华印刷装订有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 20.5

字 数 / 479千字

版 次 / 2016年9月第1版 2016年9月第1次印刷

定 价 / 59.00元

责任编辑 / 封 雪

文案编辑 / 张鑫星

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 马振武

---

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

# 前 言

机械设计制造及自动化专业导论课程对新入学的本专业大学生是很必要的。通过对专业导论的学习可以使学生从一开始就对所学专业有比较全面的认识,从而帮助学生能够更加积极主动的学习,充分发挥学生的主观能动性,顺利完成大学学业。本教材结合应用型大学实际情况,经过几轮的教学实践,得到了学生的初步认可,也还需要改进。面对第四次工业革命的浪潮汹涌澎湃,新思想、新技术的不断涌现,要想编写出具有一定前瞻性的教材的确不是一件容易的事,我们只能力求不落伍。

目前,第四次工业革命的浪潮正在形成,智能制造的概念正在深入人心,随着智能化、网络化、信息化大潮涌向各行各业,机械工程发生了全面深刻的变化。变革时期,一切都来得太快,如果对新情况认识不足,仍然因循守旧,看不到发展的大趋势,就无法应对这个机遇与挑战并存的时代,机械设计制造及自动化专业处在这样的发展和变革的时代,有太多的问题需要重新认识,需要找寻新的解决问题途径,需要更多的创新思维,机械设计制造及自动化专业导论教材的推出,正是为了适应这一发展的大潮流,为实现“适应新时代、掌握新技术、满足新需求的制造强国”奋斗大目标。本教材从培养现代应用型人才实际情况出发,注意到现在已经进入到大众创业、万众创新的时代,注重了对创新能力的培养。

现代机械是光机电一体化机械,突出了智能化、网络化的特点。光机电一体化技术是将机械技术、电工电子技术、微电子技术、信息技术、传感器技术、接口技术、信号变换技术等多种技术进行有机地结合,并综合应用到实际中去的综合技术。许多新技术融入现代机械中,对传统机械技术的改造是巨大的,从产品设计到制造,贯穿着机械的整个生命周期,好多改变几乎是颠覆性的,突出的特点是智能化。本教材正是基于这样的认识来组织安排的。其中第1章概论由刘惠恩老师执笔,重点介绍了机械设计制作及自动化专业在第四次工业革命大背景下的整体情况;第2章应用型大学机械专业培养方案简介,由马聪颖老师执笔,用实际使用的培养方案实例来给学生一个整体的概念;第3章核心课程简介,由王仰江老师完成工程力学、机电传动控制、工程测试技术部分编写,由杨建有老师完成机械制图、工程材料、机械制造基础部分编写,由何其明老师完成机械设计、互换性与技术测量、电工电子技术部分编写;第4章课程体系由朱同波老师执笔,重点介绍为完成机械设计制造及自动化专业培养目标,所开设的各种基础课、专业基础课和专业课的体系架构,包括理论课、实验课和实训、实习安排,使学生在进入大学的早期就能对整个培养计划有个总的认识;第5章现代设计方法,由钟明灯老师编写,重点介绍现代设计与传统设计方法的异同,为万众创新培养新生力量;第6章现代机械制造由周著学老师编写,重点介绍现代机械制造领域的新工艺、新加工方法、新技术;第7章典型案例,由高建军老师编写,以典型案例为主线,对本书所涉及的专业知识做综合的梳理。全书各章节由高建军老师进行内容和体例上的统一整合,刘惠恩老师做了交稿前的审定。由于时间的仓促和专业发展的日新月异,更由于我们的水平有限,其中谬误在所难免,望提出批评指正。

# 目 录

第1章 概论	1
1.1 迈进大学生活	1
1.2 关于机械设计制造及其自动化专业	4
1.3 现代机械工程	5
1.3.1 现代机械工程概述	5
1.3.2 现代机械工程与传统机械工程	6
1.3.3 现代机械工业特征	9
1.4 机械行业的鉴往知来与人类文明	10
1.4.1 技术的萌芽	10
1.4.2 工业革命	11
1.4.3 动力的发展与进步	12
1.4.4 实现大批量生产	12
1.4.5 机械文明的最后一幕	13
1.5 机械设计制造及其自动化专业人才培养	14
1.5.1 人才培养的变化	14
1.5.2 机械工程人才的素质	15
1.5.3 机械工程人才的知识结构和能力	16
1.5.4 培养创新能力	17
1.5.5 提高运用信息化手段的能力	18
1.5.6 重视现代制造服务业人才素质培养	19
第2章 人才培养方案	20
2.1 985 高校人才培养方案解读	20
2.2 211 高校人才培养方案解读	27
2.3 普通高校人才培养方案解读	33
2.4 民办高校人才培养方案解读	38
第3章 2012 高校专业目录下核心课程介绍	46
3.1 工程力学课程介绍	46
3.1.1 绪论	46
3.1.2 理论力学	48
3.1.3 材料力学	54
3.2 机电传动控制课程介绍	59
3.2.1 绪论	59

3.2.2	机电传动控制系统中的控制电动机	60
3.2.3	继电器接触器控制	62
3.2.4	可编程控制器	68
3.2.5	交直流电动机无级调速控制	71
3.2.6	机电传动控制系统设计	72
3.3	工程测试技术课程介绍	73
3.3.1	绪论	73
3.3.2	测试信号的分析处理	74
3.3.3	测试系统的基本特性	75
3.3.4	测试系统常用传感器介绍	75
3.3.5	测试信号调理电路	77
3.3.6	信号显示与记录仪表	78
3.3.7	测试技术在机械工程中的应用	78
3.3.8	计算机测试系统	81
3.3.9	现代测试技术的发展方向	83
3.4	机械制图核心课程介绍	84
3.4.1	机械制图绪论	84
3.4.2	画图和读图的基础	85
3.4.3	尺寸标注	87
3.4.4	零件图	88
3.4.5	装配图	91
3.5	工程材料核心课程介绍	96
3.5.1	绪论	96
3.5.2	材料的力学行为	96
3.5.3	材料的结构	101
3.5.4	材料的凝固与相图	103
3.5.5	材料强化及钢的热处理	105
3.6	机械制造基础核心课程介绍	108
3.6.1	机械制造基础绪论	108
3.6.2	金属的力学性能	109
3.6.3	热加工基础	112
3.6.4	切削加工	114
3.7	机械设计核心课程介绍	118
3.7.1	本课程的研究对象与内容	118
3.7.2	本课程在教学中的地位	124
3.7.3	机械设计的基本要求和一般过程	124
3.8	互换性与技术测量核心课程介绍	125
3.8.1	本课程的研究对象与任务	125

3.8.2	本课程在教学中的地位 .....	126
3.8.3	互换性的基本内容与应用 .....	127
3.9	电工电子技术核心课程介绍 .....	144
3.9.1	本课程的研究对象与任务 .....	144
3.9.2	本课程在教学中的地位 .....	145
3.9.3	电工与电子技术基本内容与应用 .....	145
<b>第4章</b>	<b>课程体系</b> .....	<b>172</b>
4.1	国内高校机械工程课程体系设置 .....	172
4.1.1	机械设计原理与方法 .....	173
4.1.2	机械制造工程原理与技术 .....	176
4.1.3	机械系统中的传动与控制 .....	180
4.1.4	计算机应用技术 .....	188
4.1.5	热流体 .....	192
4.2	国外高校机械工程课程体系设置 .....	193
4.2.1	美国机械工程课程体系设置 (以加州理工学院为例) .....	193
4.2.2	德国机械工程课程体系设置 .....	196
<b>第5章</b>	<b>现代设计方法</b> .....	<b>201</b>
5.1	机械优化设计 .....	201
5.1.1	机械优化设计概述 .....	201
5.1.2	机械优化设计数学模型建立方法 .....	201
5.1.3	优化设计方法的选择 .....	202
5.1.4	机械优化应用实例与产品开发 .....	203
5.2	计算机辅助设计 .....	204
5.2.1	三维设计软件概述 .....	204
5.2.2	三维设计软件的应用 .....	204
5.2.3	三维设计软件在我国的应用趋势及存在的问题 .....	205
5.2.4	计算机辅助设计实例 .....	206
5.3	有限元法 .....	208
5.3.1	有限元法的基本思想 .....	208
5.3.2	结构力学模型的简化和结构离散化 .....	209
5.3.3	有限元方法的实施过程 .....	210
5.4	机械可靠性设计 .....	213
5.4.1	可靠性分析概述 .....	213
5.4.2	机械产品可靠性设计特点 .....	213
5.4.3	机械产品可靠性设计原则 .....	214
5.4.4	产品可靠性设计的方法 .....	214
5.4.5	预防故障设计的设计实例 .....	216
5.5	机械创新设计 .....	224

5.5.1	机械创新设计概述 .....	224
5.5.2	机械创新设计的常用方法 .....	225
5.5.3	机械创新设计中的机构创新 .....	226
<b>第6章</b>	<b>先进制造技术</b> .....	<b>231</b>
6.1	先进制造技术概述 .....	231
6.1.1	制造技术的基本概念与发展概况 .....	231
6.1.2	21世纪制造业的主要特点 .....	232
6.1.3	21世纪制造业面临的挑战 .....	233
6.1.4	先进制造技术的提出和进展 .....	234
6.1.5	先进制造技术的内涵及体系结构 .....	236
6.1.6	先进制造技术发展趋势及我国先进制造技术的发展战略 .....	239
6.2	先进制造工艺技术 .....	243
6.2.1	高速切削技术 .....	243
6.2.2	超精密加工技术 .....	249
6.2.3	微细加工技术 .....	253
6.2.4	高能束加工技术 .....	257
6.2.5	高速磨削技术 .....	260
6.2.6	激光加工技术 .....	262
6.2.7	3D打印技术 .....	265
6.3	先进制造生产模式 .....	266
6.3.1	柔性制造 .....	266
6.3.2	精益生产 .....	268
6.3.3	敏捷制造 .....	271
6.3.4	虚拟制造 .....	276
6.3.5	生物制造 .....	280
6.4	先进生产管理模式 .....	283
6.4.1	物料需求计划 (MRP) .....	283
6.4.2	制造资源规划 (MRP II) .....	285
6.4.3	企业资源规划 (ERP) .....	287
6.4.4	准时制生产 (JIT) .....	288
<b>第7章</b>	<b>典型案例</b> .....	<b>290</b>
7.1	工业机器人 .....	290
7.1.1	历史沿革 .....	290
7.1.2	主要特点 .....	291
7.1.3	组成结构 .....	292
7.1.4	发展前景 .....	293
7.1.5	技术原理 .....	296
7.1.6	机器人典型种类介绍 .....	297



7.1.7 应用领域 .....	300
7.1.8 发展方向 .....	305
7.2 3D 打印技术 .....	306
7.2.1 发展历史 .....	306
7.2.2 技术原理 .....	307
7.2.3 打印过程 .....	308
7.2.4 应用领域 .....	309
参考文献 .....	316

# 第1章 概 论

## 1.1 迈进大学生活

刚刚迈进大学生生活的同学如何尽快适应大学学习生活呢？

首先，同学们要看到大学与中学教育性质的差异。中学阶段是应试教育，教学侧重于知识的传授，虽然强调学生兼收并蓄，但很多情况是囫圇吞枣。因为要应付高考，而高考获得高分的前提是必须对大量知识点进行记忆和理解；大学是做事教育，毕业后要到社会上做事，面对的可能是前人没解决的问题，要继续探索的问题，所以大学教育要注意培养学生认识问题、研究问题和解决问题的能力，大学阶段学生不再是简单地接受知识的灌输，而是有质疑、有选择、有批判地接受，通过怀疑悟出真理，这个真理并不一定在教材里头，答案可能不唯一，大学要培养的是探索精神、深度学习和融会贯通的能力。

其次，应试教育饱受批评，是因为培养出来的思想方法与现实世界脱节。我们所经历的是一个被分割开来的课程。在这些课程中的每门学科都有着非常清楚而严格的界限，所以我们独立地学习数学、物理和英语，很少看到这些学科之间的联系。但是，只有将这些学科连接在一起并看到它们之间的相互联系，我们才能更好地理解真实的世界。大学教育要注重研究问题、分析问题、解决问题能力的培养。要培养学生的独立思考能力、创新能力，确是大学阶段深层次的学习。在信息化社会，年轻人获取信息的量非常大，再加上年轻人思维活跃的特点，使得大学浓缩着青春的特色，五湖四海的年轻人聚集在校园，不同地域文化的交融、碰撞，激起了思想的火花，也有对所学专业的朦胧认识，对大学与中学学习生活差异的初始体验，所带来的是新鲜感、新视角和新思维。这是与中学有很大不同的学习生活。

最后，我国是一个有着悠久历史的文明古国，我们从传统走来，不可避免地受到一些传统观念的影响。在我们的传统观念中，聪明就是耳聪目明、一目十行、过目不忘，有才学就是读书破万卷、博闻强记、知识渊博。长期以来，我们的教学体系，我们的考试方式，都习惯于对记忆力的考查。老师不讲创新方法，学生穷于应付闭卷考试，大家一起陷入了知识的泥潭。这样形成的知识就是传授，就是学习，就是消化，就是接受，那么创造在哪里呢？

人类文明发展到今天，单靠对知识的记忆远远不够。

在自然界中不止一种生物记忆力远超人类。研究表明，猫的短期记忆能力是人类的20倍。加州大学圣克鲁斯分校的海洋生物学家，在1991年向一只雌性海狮里奥展示一张写有字母的卡纸，然后再展示两张卡纸，其中一张与它曾经看过的内容相同。如果里奥拿起字母相同的一张卡纸，便会获得一条鱼作为奖励。在2001年，研究员再次向里奥进行同样测试，结果它的表现与10年前同样卓越，可见海狮的长期记忆能力超过10年。尽管人类也拥有一

个复杂的短期和长期记忆，但是同章鱼比起来就差远了，因为章鱼的短期记忆是直接连接到其长期记忆上的。这意味着拥有了极高的适应能力，可以快速学习以适应生存需要。克拉克星鸦把过冬食粮分别藏在方圆 15 mile<sup>2</sup><sup>①</sup>的 5 000 处不同地点，春天过去，它会一处不落地把所有储备食粮都找到。这种超常的记忆力我们人类是不具备的。那些记忆力远超人类的物种没有成为万物之灵，可见，决定人类能够成为万物之灵的根本原因，不是记忆力有多强。

我们说，洞察力、理解力、创造力是人类非常重要的能力，注重这方面能力的培养，才是我们今后努力的方向。

刚刚经历过的高考，每个人都印象深刻。作为理工科学生来说，理性思维需要数学的头脑，一些同学因为数学成绩不理想，没能进入重点大学，对学理工心里有阴影，缺少底气。实际上，一次考试说明不了什么，温故知新，不断进步更有意义。马云连续参加三次高考，数学成绩最低时才得 1 分，按常理思维这样低的数学成绩不适合搞理工，更无法想象他成为代表现代科技最新成就的互联网应用领军人物。他没有把高考失利当成包袱，相反却成为激励前进的动力，秉持着这种不断为实现梦想而努力的精神，他创造了奇迹。创造了奇迹的，不仅有马云，还有毕业于美国犹他大学的电子工程博士沃洛克，他创立了世界著名的阿杜比 (Adobe) 系统公司，据沃洛克回忆，他直到读中学九年级，代数考试仍不及格。以至于在学校组织的智力竞赛中，主持人毫不客气地说他“测试结果表明，在工程学领域，你的成功概率几乎是零”。然而，沃洛克恰恰是在工程领域获得了伟大的成功，实现了多种型号打印机的“所见即所得”，有力地证明了中学数学考试不及格不代表没有数学才能。一些天才科学家数学考试也有不及格的时候，爱因斯坦九年级数学考试不及格，牛顿也是几何考试不及格。所以，考试不能说明发明者或成功者未来的前途，勤于思考，保持独立，不懈努力，对理工学生来说很重要。

有的同学对应用型大学的认识模糊，总觉得不如研究型大学的学生有前途，其实这是不正确的。我们大家熟知的创新天才乔布斯，他的专业理论知识基础不要说同许多硕士生、博士生不能比，就是同许多大学本科毕业生也不能比，因为从学历上来说他大学只读了一年，为什么一个大学只读一年的人能够超越那么多理论基础比他雄厚得多的精英，成为最有创新力的楷模？不仅仅是乔布斯，还有比尔·盖茨、戴尔……好多基础理论并不雄厚的人却干出了惊天动地的大事，这是为什么？甚至有人因而得出高等教育读书无用的错误论断。

只要我们认真研读一些有关这些人的成长经历就会发现，他们的所有成果几乎都集中在基础理论的应用上面，很多应用更是经过他们的成功推广，影响到整个世界。乔布斯是一位站在巨人肩膀上的新技术应用大师，他对新技术的应用前景具有异常敏锐的嗅觉，他能一眼看穿新技术的市场价值。当他的伙伴沃兹尼亚克滔滔不绝地讲述他刚刚组装的苹果电脑样机时，默默站在人群后面的乔布斯已经在盘算苹果电脑的市场价值了。鼠标的发明者阿尔伯特博士一生有许多重大的发明，他的每一项发明如果能像乔布斯那样认真做好应用推广的话，都可以获得巨大的经济利益。然而这位伟大的发明家穷其一生精力致力于创造发明，到了晚年不得不依靠养老金过着拮据的生活。他所发明的鼠标，在实验室里躺了 20 年，期间也开过鼠标推介会，但并未引起人们的注意。乔布斯敏锐地看到鼠标的巨大市场应用价值，在鼠

① 平方英里，1 mile<sup>2</sup> = 2. 589 988 11 km<sup>2</sup>。

标诞生 20 年后，将鼠标应用在苹果公司的新机型上面，让世界认识了鼠标的真正价值。把鼠标巨大应用价值挖掘出来的是乔布斯，拉开鼠标退出历史舞台序幕的也是乔布斯。触摸屏技术也不是乔布斯发明的，当他把触摸屏技术应用到平板电脑和手机上之后，我们看到鼠标输入方式在很多场合已被新的输入方式——触摸屏技术所取代。人类的文明发展史告诉我们，应用技术人才不但是必需的，而且是大量需要的。处在今天的信息化时代，各种新理论、新技术层出不穷，海量的信息就在我们身边，如果你也具有乔布斯那样的慧眼，挖掘出一两项新理论、新技术的应用价值，说不定你也能取得巨大的成功。

在我们这个时代，有许多成功的机会，也需要我们去及时把握。国家大力提倡对学生进行创新、创业教育，提倡将一些院校办成技术应用型大学，必要又及时，同学们要看到国家需要大批应用技术型人才，坚定信心，做新技术应用大有前途。作为信息时代标志之一的计算机技术，早期是在实验室少数人手里的，是乔布斯、比尔·盖茨一伙年轻人勇敢地闯入这个领域，使计算机技术大众化，才有了今天的信息化时代。人民群众是推动历史发展的动力，一个新技术时代的产生和发展，同样离不开人民群众的参与。

乔布斯、比尔·盖茨等人生活在硅谷这个特殊的环境里，虽然他们没有接受完整的大学教育，但是硅谷社会为他们提供了众多的专业教育机会，中学时代的乔布斯就可以进入当时世界最先进的科技研发企业，去了解最新技术进展，接受最新技术培训。他所拥有的专业知识，是有些在高校中学不到的。试想，如果乔布斯没有接触到大量最新技术，没有大量的技术实践，他怎么可能凭空创造出奇迹？不是高等教育无用，技术的大厦也要有坚实的基础，而是我们的高等教育要改革，要重视实践，要创造像硅谷那样的社会学习环境，我们的国家已经看到了高等教育改革的必要，正在努力实施，我们同学也要朝这个方向努力，把自己造就成社会真正急需的应用技术型人才。

我们的高等教育是一步步走过来的，高等教育改革也在进行中，解决问题需要有个过程。所以我们要以客观的态度看待现实中的问题，以积极的态度培养自己观察问题的穿透力，透过现象看本质。我们要站在知识经济时代的新高度，提高知识批判能力，自觉接受新知识，学习新知识，对那些已经老化的、在新情况下没有生命力的过时知识，不要浪费更多的时间和精力。紧抓理性思维与灵感的火花，弄明白因果关系、懂得推理、重视对过程的研究与实践，提高自己分析问题、解决问题的能力。乌鸦之所以“聪明”，主要是它们解决问题的能力比较强。实验表明，鸦类在解决问题和使用工具的能力上突出，“投石取水”不是传说，使用工具也不是人类所独有的。因此如何更有效地使用工具对我们来说很重要，这是一种高级认知能力也是深度学习能力，我们要着力培养。人为万物之灵，就要善于学习。不仅要学习人类创造的文化，也要向其他生物学习，研究经过数十亿年的自然演化，其他生物和人类感官感知的不同，它们的生理进化是怎样实现这一切的，以及与人类的对比。这些仿生学研究成果将大量应用在现代机械上面，例如机器人的研发、安保系统对人像的识别等。有效使用工具，还体现在应该充分运用信息化工具来提高我们的效率，虽然我们是学机械工程的，但是要切记离开了信息化技术，我们就会困难重重，努力掌握信息化技术，努力学会使用更多的应用软件，是我们能够站在巨人的肩膀上，成为超巨人的关键。互联网把我们与世界的距离拉近了，信息化技术改变了世界，也改变了我们的学习方式、思维方式、处理问题的方式，我们要自觉地适应这种改变。外语是打开世界的窗户，你要有国际眼光，就要学好外语，尤其是专业外语。在我们这个时代，地球已经变成地球村。

## 1.2 关于机械设计制造及其自动化专业

对于机械设计制造及其自动化专业，深圳大学的王华权教授从字面上有生动的解释。他认为，所谓机械，是机构加结构，即是由若干具有一定形状、一定承载能力的构件组成，通过其静态或者动态来实现特定功能，以协助、替代、放大人类体能，完成特定任务的装置。所谓设计，实际包括了设和计两部分，设是通过创造性思维，创想出整体形态、总体工作模式、结构构思、几何形状，设想出完成既定目标的方法和路线图；计是确定总体工作参数、优化参数、校验安全性和可靠性，确定零部件几何尺寸、材料等。所谓制造，一般包含了4个过程，即

- (1) 将矿物原料变成具有特色化学成分的“坯”料。
- (2) 将特定的坯料变成具有特定尺寸的零件。
- (3) 赋予零件特定的物理特性。
- (4) 将特定的零件组装成具有特定功能要求的系统。

所谓自动化是给机械装置配上信息采集和处理系统，来部分或全部替代甚至超越人的感官和头脑，使机械系统成为自动化、智能化系统。

机械设计制造及其自动化是一个应用性很强的专业，特别讲究面向实际，面向应用。“设”要有依据，要满足使用功能的实际需求，要符合制造工艺的实际，也要考虑应用者的具体条件，“计”要落实设想，就要有扎实的科学原理功底，要根据工况实际和各种条件合理确定机械寿命，还要掌握必要的实用工具，如计算软件、模拟软件等。不能制造的设计是脱离实际的设计，所以机械设计制造及其自动化专业非常重视调查研究，非常注意理论联系实际。

机械设计制造及其自动化专业涉及面广，博大精深，特别是在科学技术高度发达的今天，它已经成为非常精密、复杂的系统工程，一个人的能力再大，也无法包办一切。网络时代的个人犹如复杂大脑的单个脑细胞，各司其职地在网络下工作。那种企图同时成为各个领域专家的想法是不切实际的，因为今天每个专业领域的深度仍在不断发展，仅靠大学四年的学习是远远不够的。对于专业的学习最忌浅尝辄止，不求甚解。看似样样通，实则样样松，缺乏核心竞争力，在信息化时代很难立足。我们需要向一专多闻的方向努力。之所以不提“一专多能”，是因为高度专业化的今天，真正做到多能实际是很困难的。科技越发展，分工越细，就越需要通力合作。“一专”是立足之本，精益求精，具有足够的深度，使我们的优势得到发挥；“多闻”是开阔视野，拓宽应用的广度，增强与其他专业人员的沟通能力，以便更好地合作。

机械设计制造及其自动化专业成就的专门人才种类繁多，归纳起来大致有四类：设计师、分析师、工艺师和运管师。每一类人才都是现代机械所需要的，只有分工不同，没有高低之分。作为学生要根据每个人不同特质、条件、兴趣爱好，规划好自己的人才成长目标。

大学一年级是认识专业、纠正应试教育弊端的重要时期，我们要培养会做事的应用型人才，无论教与学，都要改变思维模式，坚决摒弃“高中后”的教学模式，使同学们向着时代要求的应用型人才目标前进，通过脚踏实地的努力实现梦想。

机械作为古老而又年轻的行业，你了解它吗？特别是今天的机械和4年后的发展趋势。

## 1.3 现代机械工程

制造活动历来是人类的主要活动之一，全球有 1/4 的人口从事各种形式的制造活动。即使在非制造业部门，也有 1/2 人口的工作与制造业有关。机械工程是国民经济基础的重要部分，它不断创造价值、生产物质财富和新的知识。发达国家的财富很大部分来自机械工业。

例如，美国：68% 的财富来自制造业；日本：49% 的国民经济总产值；中国：40% 的工业总产值（1995）。

机械工程为国民经济各个部门（包括国防和科学技术的进步与发展）提供先进手段和装备。

自 2013 年中国已经是全球工业机器人的最大市场，但制造业工业机器人密度仍然很低，2013 年中国工业机器人密度仅为 30 台/万名产业工人，不足全球平均水平的一半，与工业自动化程度较高的韩国（437 台/万名产业工人）、日本（323 台/万名产业工人）和德国（282 台/万名产业工人）相比差距更大。国内工业机器人市场仍有巨大潜力。

目前，智能制造的概念正在深入人心，第四次工业革命的浪潮正在形成。当信息化大潮涌向各行各业时，机械工程发生了深刻的变化。有的抓住了时机，成为时代的弄潮儿；有的没有抓住时机，被大潮埋葬。之所以会有这样大的差别，是因为变革时期，一切都来得太快，如果对新情况认识不足，仍然因循守旧，看不到现代机械与传统机械的不同，不思进取，就会在无情的市场竞争中被淘汰，被迫退出市场。

### 1.3.1 现代机械工程概述

现代机械与传统机械不可同日而语。我们强调现代机械，就是要使大家对现代机械有一个明确的认识，来应对变革的时代，这是个机遇与挑战并存的时代，大家毕业后就要投入到这个变革之中，置身于发展的大潮流，去实现“适应新时代、掌握新技术、满足新需求的制造强国”奋斗大目标。

机械伴随人类文明已经很长时间，它是执行机械运动的装置，用来变换或传递能量、物料或信息。实践表明，机械结构具有一定强度，很适合传递能量或负载运动，但对于传递微小动作或信息，并没有太多的优势。传统的机械传递运动完全依靠纯硬件的、各种复杂的传动机构来实现；现代机械则引入了微电子控制代替复杂的传动机构，由电脑软件控制执行装置工作其好处是：机械结构简单，传递路线缩短，功能增强，效率更高，成本也降低了。譬如机床的变速装置，过去是由复杂的变速箱来实现的，现在只需控制电动机的转数就可以实现；再如绣花机绣花，纯机械的绣花机如果要改变绣花图案是非常麻烦的事情，电子绣花机则只要选择不同的绣花软件程序就能实现。

#### 1. 现代机械系统的定义

在美国，现代机械系统被定义为引进信息技术、微电子技术及其他技术，并将机械装置、微电子装置等用相关软件有机结合所构成的系统。

#### 2. 现代机械的表现

现代机械主要表现为机电一体化、智能化。随着计算机技术的迅猛发展和广泛应用，机电一体化技术获得前所未有的发展。机电一体化技术是将机械技术、电工电子技术、微电子技

术、信息技术、传感器技术、接口技术、信号变换技术等多种技术进行有机的结合,并综合应用到实际中去的综合技术。许多新技术融入现代机械中,对传统机械技术的改造是巨大的,从产品设计到制造,贯穿着机械的整个生命周期,好多改变几乎是颠覆性的,突出的特点是智能化。

### 3. 现代机械系统的组成

现代机械系统主要由机械主体、传感器、信息处理电脑和执行机构等部分组成。系统由硬件和软件组成,利用软件技术可以实现硬件难以实现的功能,使机械系统增加柔性。数控机床、加工中心、工业机器人以及柔性制造系统、计算机集成制造系统、工厂自动化、办公自动化、家庭自动化等都属于现代机械系统,或者说机电一体化系统。

现代机械工程是集机械、电子、光学、控制、计算机、信息等多学科的交叉综合,它的发展和进步依赖并促进相关技术的发展与进步。

### 1.3.2 现代机械工程与传统机械工程

机械可以完成人类四肢和感官能够直接完成和不能直接完成的工作,而且完成得更快、更好。现代机械工程创造出越来越精巧和越来越复杂的机械与机械装置,使过去的许多幻想成为现实。人类现在已能上游天空和宇宙,下潜大海深层,远窥百亿光年,近察夸克和中微子。新兴的电子计算机软、硬件技术使人类开始有了加强并部分代替人脑的科技手段,AlphaGo 战胜世界围棋冠军李世石,标志人工智能的伟大进步。这一新的发展影响巨大,正在不断地创造出奇迹。

人工智能与机械工程之间的关系近似于脑与手之间的关系。过去,各种机械离不开人的操作和控制,其反应速度和操作精度受到限制,人工智能消除了这个限制。现代机械工程扩展了发展的巨大可能性,使机械工程在更高的层次上开始新一轮大发展。

同传统机械工程相比,现代机械工程在许多方面都有不断地进步和长足的发展,通过以下几个方面的发展,我们可以体验到现代机械工程优势所在。

#### 1.3.2.1 在机构学方面的发展

与以静态结构为工作对象的土木工程相比,机械工程的工作对象是动态的机械。

#### 1. 传统的机械工程

传统的机械传递运动由相应的机构装置来完成,这种机构在工作过程中要受到诸如摩擦、撞击、温度变化、意外干扰等多种情况,它的工作情况会发生很大的变化。这种变化有时是随机而不可预见的;实际应用的材料也不完全均匀,可能存有各种缺陷;加工精度有一定的偏差;等等。因此,如何实现机械在安全可靠的前提下完成预定工作,并保持合适的工作效率,是一个必须要解决的问题。由于整个过程是个动态过程,影响因素很多,过程相当复杂,很难用传统经典理论精确解决。因此,传统的机械工程只能运用简单的理论概念,结合实践经验进行设计工作。设计计算多依靠经验公式,墨守成规。这样做的结果,使得制成的机械庞大笨重,成本高,生产率低,能量消耗大。

#### 2. 现代机械系统

现代机械系统最大限度地减少了传动硬件的数量,从而避免了一些不确定因素的影响,机构运动描述采用了软件编程方式,对于整个动态过程中可能出现的干扰,都可以采用适当的校正措施,所以能够比较好地解决运动传递精度问题。

高技术为机电一体化注入了新的含义和活力,使最初意义上的机电一体化实现向高技术

升级,机电一体化的概念在不断扩展中成为多元技术的集成。而机电一体化产品五要素(结构、运动、检测、控制、驱动)在信息技术的催化下,实现充分的融合和集成,机械产品自此真正成为智能化产品。

### 1.3.2.2 现代机械工程应用新材料带来的进步

由于高技术的应用,出现了诸如超强度、超韧性、不磨损的新材料。将这样的材料用到机械上,可以实现机器转速更高、重量更轻、体积更小;现代航空发动机用热障陶瓷涂层(TBC)容许发动机进气温度达到 $1\ 700\ ^\circ\text{C}$ ,使5倍音速的超音速飞机成为可能;“生物钢”是根据蜘蛛丝蛋白仿制的生物材料,这种人造基因蜘蛛丝的硬度是钢的4~5倍,既坚硬又柔韧,因而首先在军事上具有广泛的用途;晶粒尺寸在50 nm以下的纳米陶瓷具有高硬度、高韧性、低温超塑性、易加工等传统陶瓷不具备的优点,使其在切削刀具、轴承、汽车发动机部件等诸多方面都有广泛的应用。

由于出现了新材料,传统机械设计采用的数据、公式、常数、系数也要相应地改变。

纳米材料的应用对制造业的影响是革命性的。当粒径降到1 nm时,使材料的强度、韧性和超塑性大大提高,同时在宏观上显示出许多奇妙的特性。在未来也将使工业设计制造产生重大的改变。

在大型高速旋转机械和传动系统中采用电流变、磁流变等智能材料来控制系统的刚性,可实现减振降噪和降低高峰应力。而采用新型表面工程的纳米涂层技术和仿生以及智能表面自诊断、自修复技术,将可能实现各类摩擦副表面性能的主动控制和寿命的大幅度延长。

### 1.3.2.3 现代机械工程开拓了高精尖领域的发展空间

#### 1. 超高速加工技术

目前国际市场上电主轴最高转速可达 $150\ 000\ \text{r/min}$ 以上。高速NC机床快移速度也达 $120\ \text{m/min}$ ,进给加减速度发展到 $2\ g$ ( $g$ 为重力加速度)。在工作可靠性上,机床无故障工作时间达到 $200\ 000\ \text{h}$ 。

#### 2. 超精密加工

超精密加工能提高产品的性能和质量,提高其稳定性和可靠性,促进产品的小型化,增强零件的互换性,提高装配生产率,促进自动化装配。现代机械在超精密加工技术领域的进展,有力地推动了各种新技术的发展和进步。

#### 3. 微型机械加工

微型机械是指尺寸在 $1\ \mu\text{m}\sim 1\ \text{mm}$ 的机械。它是集微型机构、微型传动器以及信号处理和控制电路,甚至外围接口电路、通信电路和电源等于一体的微型机电系统。因此,微型机械远远超出了传统机械的概念和范畴,其应用领域相当广泛。目前微型机械的制造主要采用基于半导体工艺的硅微细加工技术,如掺杂、光刻和腐蚀技术。目前微型机械发展的一个重要方向是:直接制造出已经装配好的微型机械MEMS,构成机电紧密结合的微系统,它是一个全智能系统,可以独立采集和处理数据并产生执行动作,这是一场新技术革命的开始。

#### 4. 其他技术

永磁同步电动机的电主轴由日本Mazak公司研制,这种电动机的转子为永久磁铁不发热,从而大大改善了电主轴的热状况;此外,这种同步电动机外形尺寸比同功率的异步电动机尺寸小、功率大,可提高功率密度。在汽车工业、电加工机床、航空工业、大型模具,以及板材冲压机、激光板材切割机床,甚至三坐标测量机上都使用了直线电动机。同时,美国



Ingersoll 公司推出了动静压轴承的电主轴，作为一个独立部件出售；瑞士 IBAG 公司推出了磁悬浮轴承的电主轴。

#### 1.3.2.4 在机械加工技术方面的发展

机械加工包括铸造、锻压、钣金、焊接、热处理等技术及其装备，以及切削加工技术和机床、刀具、量具等，由于有微电子技术及其他高新技术的加盟，使得机械加工技术得到迅速发展。社会经济的发展，对机械产品的需求猛增。近两百年来，在市场需求不断变化的驱动下，制造业的生产规模沿着“小批量→少品种→大批量→多品种变批量”的方向发展。当下生产批量的增大和多品种、小批量、个性化产品数量的增加并存，进一步促进了专业领域的电脑化进程。精密加工技术的发展，促进了大量生产方法（零件互换性生产、专业分工和协作、流水加工线和流水装配线等）的形成，并形成了现代机械加工的主要特点：

(1) 提高机床的加工速度和精度，实现数字化，减少对手工技艺的依赖。

(2) 发展少切削或无切削加工工艺，如激光束加工。

(3) 提高成形加工、切削加工和装配的机械化与自动化程度。采用计算机控制的完全自动化，出现无人车间和无人工厂。

(4) 利用数字控制机床、加工中心、成组技术等，发展柔性加工系统，使中小批量、多品种生产的生产效率提高到近于大量生产的水平。

(5) 研究和改进难加工的新型金属与非金属材料新的成形技术，如 3D 打印。

#### 1.3.2.5 机械工程设计理论的发展

现代机械设计是一门融入多学科，多部门共同协作完成任务的动态过程。基于计算机高速运算基础上的现代机械设计理论，能够更好地适应复杂的现代机械综合系统的设计要求，在进行机械结构优化设计、构件刚度强度分析、控制系统仿真、三维造型、运动仿真、虚拟样机仿真制造等方面，都有不俗的表现。现代机械系统的复杂性，靠人工手算是无法讨论清楚的，必须要依靠计算机。当代紧张的工作节奏，不允许设计工作放慢脚步，也不允许设计产品质次价高。文明在发展，技术在进步，用现代设计理论代替传统设计理论是历史的必然选择。当现有的机械设计技术难以与现在的高科技快速发展的多样化需求相匹配的时候，相关的机械设计技术还需要进行相应的更新，从而为社会市场经济创造更大的市场价值。

随着科学技术水平的不断进步，人们对机械产品的功能要求越来越高，技术工艺越来越复杂，使用期限越来越短，人们更新换代的速度越来越快，要求不断有新概念、新产品出现，满足人们对产品的需要。当前，计算机辅助产品的绘图设计、设计计算、生产规划以及加工制造等方面，已经获得较为广泛的分析与研究，并且获得了一定的成果，总体看新产品的推出速度大大加快了。

系统化机械设计方式是产品的设计从抽象分解到具体，依层次进行，将每一层所要达成的方法与目标都加以制订，使其能从浅到深、从抽象到具体紧密相连，从而实现机械设计的系统化。系统化机械设计是把设计当作由多个设计要素所构成的系统，其中的设计要素是独立存在的，要素之间又紧密相连，富有一定的层次性，将全部设计要素组成之后，就能达成系统设计所要实现的目标。

在进行系统化机械设计时，为了达到产品设计的科学性与合理性，一般会将一个机械系统分成几个子系统，使设计变得简便；可以依据实际的需要，在对分解后的子系统进行再次分解，从而使设计与分析工作更加的简单。